SUL MODO
DI
INTERPRETARE CERTE ESPERIENZE
DEL
Sig. P. ZEEMAN
DI LEIDA

NOTA

DI

A. GARBASSO

Estratto dal *Nuovo Cimento*, Serie 4. Vol. VI.
Fascicolo di Luglio 1897

PISA
DALLA TIPOGRAFIA PIERACCINI
1897

SUL MODO DI INTERPRETARE CERTE ESPERIENZE DEL SIG. P. ZEEMAN DI LEIDA.

Nota di A. GARBASSO.

1. In un lavoro pubblicato nel fascicolo di Marzo del *Philosophical Magazine*, il sig. P. Zeeman di Leida ha descritto [1]) alcune esperienze, estremamente interessanti, dalle quali risulta che la luce, emessa da una sorgente luminosa, si modifica, in qualche modo, per l' azione del magnetismo.

Fra i poli di una potente elettrocalamita del Faraday si colloca la fiamma oscura di un becco Bunsen, e in questa si porta all' incandescenza il vapore di un sale sodico; della radiazione emessa si forma lo spettro con un reticolo del Rowland. Eccitando l' elettrocalamita succede che le righe D si allargano alquanto.

Questo avviene comunque sia diretto, nel piano orizzontale, il raggio, che cade sul reticolo. Ma le particolarità del fenomeno si modificano con la direzione della luce incidente.

E cioè, se si tratta di raggi normali alle linee di forza magnetica, gli orli delle righe allargate appariscono polarizzati rettilineamente, e le vibrazioni si compiono in essi secondo la verticale.

1) P. Zeeman. On the Influence of Magnetism on the Nature of the Light emitted by a Substance. (Phil. Mag. (5), XLIII, 226, 1897).

Se invece si tratta di luce, che, percorrendo i canali praticati nel nucleo del magnete, abbia attraversato il campo lungo le linee di forza, i due orli di ciascuna riga sono polarizzati circolarmente, in versi opposti. Versi, che si scambiano con i poli dell' elettrocalamita.

Il sig. Zeeman ha mostrato ancora che i suoi resultati si possono prevedere qualitativamente, quando si accetti la teoria del Lorentz su l' emissione della luce.

Secondo questa teoria i raggi luminosi risultano dalla propagazione di un fenomeno periodico, dovuto ai movimenti di va e vieni degli atomi materiali elettrizzati. Le cariche, che quì entrano in giuoco, sarebbero quelle stesse, la cui presenza si rivela nel fatto dell' elettrolisi.

Ora mi sembra che l' applicazione immediata della teoria del Lorentz al caso pratico attuale conduca a difficoltà insuperabili.

Anzi tutto trova lo Zeeman che il rapporto fra la carica e la massa di ciascun atomo deve essere dell' ordine:

$$\frac{e}{m} = 10^7 ,$$

quando la grandezza elettrica si misuri in unità del sistema elettromagnetico. Ma dai fenomeni dell' elettrolisi si deduce per lo stesso rapporto il valore:

$$\frac{e}{m} = 2,5 \,.\, 10^3$$ [1]),

1) Secondo il Richarz (citato in H. Ebert. Electrische Schwingungen molecularer Gebilde. Wied. Ann. XLIX, 651, 1893) sarebbe:

$$e = 12,9 \,.\, 10^{-11},$$

in unità del sistema elettrostatico, dunque:

$$e = \frac{12,9}{3} \,.\, 10^{-21},$$

$$= 4,3 \,.\, 10^{-21},$$

in unità del sistema elettromagnetico.

D' altra parte il peso di un atomo di sodio si può assumere (H. Ebert, l. c.) uguale a:

$$1,7 \,.\, 10^{-21},$$

le cariche degli atomi dovrebbero dunque essere quattromila volte più grandi che realmente non siano, perchè si potessero produrre, nel modo supposto dalla teoria, i fatti, che l' esperienza dimostra.

Vi è un' altra difficoltà, che credo anche meno agevole da superare, ed è questa che, per intendere la produzione dei raggi circolari, nelle condizioni degli esperimenti, bisogna ammettere che le sole cariche positive vibrino. E non si sa vedere da che debba dipendere una tale disparità di trattamento.

Ma quando queste obbiezioni, che ho messo innanzi, sembrassero abbastanza gravi per rifiutare l' applicazione della teoria del Lorentz, nel modo come fu fatta dallo Zeeman, ci si dovrebbe subito domandare se si possano comprendere altrimenti i fenomeni.

Io mi propongo appunto di esporre una fra le interpretazioni possibili. Come si vedrà, essa ha pur sempre a fondamento le ipotesi del Lorentz, utilizzate bensì per una strada differente.

Pur troppo la teoria, che svolgerò, non si presta bene a verifiche quantitative. Ad ogni modo la pubblico perchè credo che essa possa suggerire qualche esperienza non priva di interesse.

2. Io voglio supporre che il meccanismo dell' emissione della luce sia quello stesso, che il Lorentz accetta; ma voglio ammettere di più che le forze magnetiche agiscano sopra gli atomi direttamente, piuttosto che sopra le loro cariche.

e quindi la massa a:

$$m = \frac{1,7}{g} . 10^{-21},$$

$$= \frac{1,7}{980} . 10^{-21},$$

$$= 1,7 . 10^{-24}.$$

Ne viene:

$$\frac{e}{m} = \frac{4,3}{1,7} . 10^{3} = 2,5 . 10^{3},$$

appunto come si è indicato nel testo.

Non è inutile osservare che, in base ai numeri impiegati da noi, l' Ebert (l. c.) potè calcolare certi fenomeni di radiazione luminosa, ottenendo dei valori, i quali si accordano pienamente con quelli dedotti dalle esperienze dirette.

Per meglio dire, introduco l' ipotesi che le azioni esercitate sopra le cariche, siano trascurabili rispetto a quelle, che subiscono i sostegni materiali.

In questo modo di vedere la sostanza degli atomi si deve ammettere che sia conduttrice, così che in essa si possano sviluppare le correnti del Foucault. Il meccanismo dell' azione del campo magnetico consisterebbe appunto in una specie di smorzamento, imposto ai moti degli atomi, in virtù della legge del Lenz.

Si tratta di vedere di che natura debba essere questo smorzamento, e come si modifichino, in conseguenza, il periodo e la direzione delle perturbazioni luminose.

Il campo generato dall' elettrocalamita del Faraday è di rivoluzione intorno alla congiungente dei poli. Io imagino di condurre la verticale nel punto di mezzo di codesta congiungente; e, per semplificare le cose, mi limito allo studio delle azioni delle forze magnetiche su i moti degli atomi, che hanno in tale retta la posizione di equilibrio.

Per gli atomi in discorso [1]) lo spostamento si può scomporre secondo tre assi, che l' uno è parallelo alla congiungente dei poli, l' altro è perpendicolare a questo primo e diretto orizzontalmente, e il terzo è verticale.

La componente, che sta secondo il primo asse, non è alterata dal campo, perchè ha la direzione delle linee di forza.

Nemmeno si modifica la componente parallela al secondo asse [2]), perchè le linee di forza sono distribuite uniformemente sopra cerchi, che stanno in piani normali alla retta, che congiunge i poli, e hanno il centro su la retta medesima.

Invece subirà l' azione del campo la terza componente, la quale trasporta il mobile da punti a punti in cui il flusso è diverso. E questa riuscirà smorzata.

Ora è noto che una vibrazione smorzata non può emettere luce monocromatica; ad essa corrisponde come spettro, in luogo di una linea, una banda più o meno larga.

Segue dunque dal nostro ragionamento che i raggi emessi

1) Come per tutti gli altri del resto.

2) Se si ammette che le escursioni delle particelle vibranti siano estremamente poco ampie.

orizzontalmente da una fiamma, nelle condizioni delle esperienze dello Zeeman, non hanno più una costituzione uniforme.

Essi contengono, per la massima parte, della luce non polarizzata, di lunghezza d' onda ben definita. Ma contengono ancora un po' di luce, polarizzata nel piano orizzontale, a cui spettano varii periodi differenti: maggiori, uguali e minori del periodo, che è proprio della porzione, che è rimasta naturale.

Quindi si capisce che codesti raggi devono dare come spettro una banda, con gli orli polarizzati nel piano dell'orizzonte.

È un resultato questo, che va pienamente d' accordo con quello sperimentale dello Zeeman, almeno finchè si tratta della luce, che si propaga normalmente alle linee di forza.

3. Per i raggi invece, che seguono l' asse dell' elettrocalamita, sembra, a prima vista, che le conclusioni nostre siano contrarie a quelle dell' esperienza. In realtà si può mostrare che contraddizione non vi è; e che l' origine dei raggi circolari vuol essere attribuita all' apparecchio stesso, impiegato dallo Zeeman.

Si osservi anzi tutto che la luce, prima di arrivare al reticolo, attraversa il nucleo dell' elettrocalamita. Ora si sa, dalle esperienze del Becquerel, che l' aria magnetizzata agisce come un corpo attivo.

Abbiamo dunque, nella disposizione dello Zeeman, della luce polarizzata (rettilineamente), che percorre uno strato di sostanza attiva.

Ma una vibrazione rettilinea si può sempre sostituire con due circolari di senso inverso. Imaginiamo che la sostituzione si faccia, e che i due raggi circolari si propaghino indipendentemente. Quale sarà la loro velocità nel nucleo dell' elettromagnete?

Il Righi ha dimostrato, in un lavoro vecchio ormai di vent' anni [1]), che, in tali condizioni, uno dei raggi si muove un po' più presto e l' altro un po' più adagio di quello che entrambi farebbero nell' aria non magnetizzata.

1) A. Righi. Sulla velocità della luce nei corpi trasparenti magnetizzati. (N. Cimento, (3), III, 212, 1878).

Vuol dire che, per il primo, il nucleo dell'elettromagnete è un mezzo meno rifrangente che l'aria atmosferica in condizioni ordinarie; per il secondo invece è un mezzo più rifrangente.

Se ne conclude che certi raggi circolari, diciamo i destri, per fissare le idee, appariranno emessi da una sorgente più lontana dal reticolo, che non sia, in realtà, la fiamma. E dei raggi sinistri accadrà precisamente il contrario.

Ora, ciò che s' osserva nelle esperienze dello Zeeman, è un movimento di fianco delle righe relative ai raggi circolari; la linea spettrale infatti appare allargata, e i suoi orli sono polarizzati circolarmente in versi opposti.

Si tratta dunque di vedere se, quando si fa uso del reticolo del Rowland, e si punta una data linea in uno spettro, uno spostamento della sorgente, rispetto al reticolo, si possa tradurre in un moto laterale della imagine. E se inoltre l' escursione della linea spettrale cambi di segno con quella della sorgente.

È facile dimostrare che le cose devono accadere appunto così.

La formola fondamentale del reticolo sferico fu data nel 1883 dal Rowland [1]), ed è la seguente:

$$(1) \qquad r = \frac{R \rho \cos^2 \mu}{R (\cos \mu + \cos \nu) - \rho \cos^2 \nu} .$$

Quì R ed r indicano le distanze del punto irradiante e dell' imagine dal reticolo, ρ è il raggio di curvatura di quest' ultimo, ν e μ sono gli angoli formati da R ed r con l' asse di simmetria dell' apparecchio.

La nostra quistione, manifestamente, si riduce a cercare come varii la μ, quando la R varia e ρ, r e ν rimangono costanti.

Ora, differenziando in questa ipotesi la (1), si ricava:

$$d\mu = \frac{-\rho \cos^2 \nu \cos^2 \mu \, d R}{R \operatorname{sen} 2\mu \, [R ({}^1/_2 \cos \mu + \cos \nu) - \rho \cos^2 \nu]} ;$$

1) H. A. Rowland. On Concave Gratings for Optical Purposes. (Phil Mag. (5), XVI, 197, 1883; confronta particolarmente le pagine 199-202).

vale a dire, quando, come nel caso più comune, è $R = \rho \cos \nu$:

$$d\mu = -\frac{dR}{\rho \operatorname{sen} \mu}.$$

In realtà dunque, per una data disposizione, il differenziale della μ cambia di segno con quello della R. Si vede inoltre che $d\mu$ potrà essere sensibile, anche quando dR sia molto piccolo, se μ non è grande. Questa condizione si verifica negli apparecchi ordinarii.

Ne seguirebbe che, se si ottengono, dalla luce emessa secondo le linee di forza del campo magnetico, delle righe spettrali con gli orli polarizzati circolarmente, ciò dipende appunto dal modo come si fa l' osservazione.

E il meccanismo del fenomeno sarebbe questo. La luce entrerebbe nella elettrocalamita non più monocromatica nè naturale; ma modificata per modo da corrispondere ad una banda con gli orli parzialmente polarizzati secondo linee rette.

Quindi, per l' azione del mezzo magnetizzato, ogni orlo si sdoppierebbe in due righe di raggi circolari, delle quali, nello spettro, una deve apparire respinta verso l' esterno della banda complessiva, e l' altra verso l' interno. Ai due estremi le righe circolari di ugual verso si sposterebbero nel medesimo senso; quindi gli orli, da ultimo, devono apparire polarizzati circolarmente in verso opposto. Come infatti si verifica.

Anche nella nostra ipotesi i versi della polarizzazione agli orli si scambiano quando il magnete si inverte.

4. Se la teoria, che ho messo innanzi in questa nota, è conforme alla realtà, quella parte dell' esperimento dello Zeeman, che si riferisce alla luce emessa secondo l' asse dei magneti, sarebbe una forma nuova dell' antica esperienza del Righi.

Pisa, Istituto fisico dell' Università, Aprile 1897.